
Planificación temporal

1. Introducción.

2. Técnicas de planificación temporal.

2.1. Diagramas de Gantt.

2.2. Redes de precedencia (PERT/CPM).

3. Aplicación práctica de las técnicas.

4. Ejercicios.

El principal objetivo del plan de desarrollo del proyecto es la configuración del calendario del proyecto (es decir, la planificación temporal). Se trata de una representación gráfica de todas las actividades del proyecto necesarias para producir el resultado final que permite al director del proyecto coordinar de una forma efectiva al equipo de desarrollo durante el transcurso del mismo. El calendario es dinámico, es decir, puede variar a medida que avanza el proyecto por cambios no previstos (en su extensión, sus plazos, etc).

Sin este calendario, el control del proyecto se hace casi imposible. La dirección del proyecto podría ser extremadamente difícil si no se han identificado previamente las actividades individuales y sus interrelaciones.

El control del proyecto se basa en la supervisión periódica y en la comparación de los resultados con los previstos en el calendario. Si no existe este calendario, es imposible estimar el estado del proyecto de forma acertada.

1. Introducción.

Para que una planificación temporal (o agenda) sea efectiva, debe tener las siguientes características:

- Ser comprensible por todas las personas que van a utilizarlo.
- Suficientemente detallado como para servir de base en la medición y control del progreso del proyecto.
- Capaz de poder señalar las actividades críticas (aquellas cuyo cambio de duración influyen en la duración final del proyecto).
- Flexible, fácilmente modificable.
- Basados en estimaciones de tiempos fidedignas.
- Ajustable a los recursos disponibles.
- Compatible con los planes de otros proyectos que compartan los mismos recursos.

Hay muchos factores que debe considerar el director del proyecto cuando realiza la planificación temporal: objetivos del proyecto, demandas de otros proyectos, recursos y restricciones, capacidades personales y miembros del equipo.

Para desarrollar un calendario es necesario realizar los siguientes pasos:

- Definición de los objetivos del proyecto.
- Descomposición de las actividades.
- Relación entre las actividades.
- Estimación de los tiempos y costes de las actividades.
- Reajuste del programa de tiempos a las restricciones del proyecto.
- Asignación de los recursos y definición de la organización del equipo.
- Revisión del calendario.

a) Definición de los objetivos del proyecto

La responsabilidad principal del jefe de proyecto es asegurar que el producto final cumpla los requisitos del cliente. Por lo tanto, su primera tarea es clarificar los objetivos del proyecto, especificándolos en términos cuantificables. Un objetivo del proyecto es un enunciado que especifica los resultados que se deben conseguir. Estas declaraciones forman el fundamento de todo el proceso de planificación, incluyendo el desarrollo del calendario.

Los objetivos estarán definidos al comienzo para identificar las responsabilidades del equipo de desarrollo y se revisarán durante el proyecto para señalar los cambios que se apartan del alcance inicial. Una vez finalizado, ayudarán al director de proyecto en la revisión de los resultados finales respecto a los objetivos iniciales.

b) Descomposición de las actividades

Una vez determinados los objetivos, el director de proyecto puede producir un diagrama de descomposición del trabajo (con el método de *Estructura de Descomposición de Trabajos (WBS)*). Es una técnica que, como vimos, permite representar las actividades que hay que realizar a distinto nivel de detalle por medio de un diagrama de estructura. Conforme se baja en la jerarquía que se va obteniendo, identificamos tareas cada vez más concretas. El diagrama también puede representar las personas responsables de cada tarea.

c) Relación entre las actividades

Las actividades tienen que estar relacionadas, por lo que hay que determinar sus secuencias y sus dependencias. La determinación del calendario supone también la identificación de las interrelaciones entre las actividades que influyen en la secuencia que deben seguir.

Para un proyecto sencillo, la utilización de los diagramas de hitos o los diagramas de Gantt es suficiente (muestran el tiempo necesario para la ejecución de cada tarea, pero no las interrelaciones entre tareas). Los diagramas de Gantt son útiles para estimar la relación entre el tiempo y la carga de trabajo.

Pero, para proyectos grandes, se hace necesario el uso de técnicas basadas en las redes de precedencia, como PERT y CPM. Las redes de precedencia son una representación gráfica del proyecto que relacionan las actividades de forma que se pueden visualizar las que son críticas. Las redes de precedencia, además, se pueden reflejar en una escala de tiempos para facilitar la distribución de recursos y la determinación del presupuesto.

d) Estimación de los tiempos y costes de las actividades

Una vez que se ha definido la secuencia entre las actividades, es necesario realizar una estimación del tiempo que debe transcurrir entre el comienzo y el final de la actividad. Estas estimaciones no se basan en el esfuerzo en horas-hombre de una actividad, sino en el tiempo requerido para finalizarla. Tales estimaciones suelen estar basadas en la experiencia del planificador en proyectos similares y deben incluir previsiones de retraso. Las técnicas adecuadas para esto se revisaron en el tema anterior.

e) Reajuste del programa de tiempos a las restricciones del proyecto

Este paso tiene tres objetivos principales:

- Determinar la duración total del proyecto.
- Identificar las actividades que contribuyen a la duración total del proyecto (actividades críticas).
- Calcular las holguras de las actividades que no son críticas.

El primer objetivo se puede conseguir por medio de cualquiera de las técnicas para la determinación del calendario. Pero para conseguir los dos restantes, es necesario utilizar las redes de precedencia. Si por medio de este análisis se predice una duración de proyecto más larga de la deseada, es necesario revisar la red reorganizándola de forma que algunas actividades puedan comenzar antes en relación a otras.

Excepto en los proyectos excesivamente sencillos, es necesario el uso de herramientas automatizadas que realicen el análisis de tiempos de la red y la distribución de los recursos pertinentes.

f) Asignación de los recursos y definición de la organización del equipo

Una vez que se ha ajustado el calendario a las restricciones de tiempo, hay que ajustarlo respecto a los recursos disponibles. Para suavizar la posible carga de trabajo, el director de proyecto debe fijarse en todas las actividades que tengan holguras. Debe ajustar las fechas de comienzo de algunas actividades no críticas que de otra forma podrían darse en periodos de gran carga de trabajo. Si no se puede hacer esto, debería aumentar la duración de las actividades críticas, aumentando así la duración total del proyecto.

Hay que considerar también que los costes proyectados deben ajustarse al presupuesto. Por ello, puede ser necesario incrementar la duración de algunas actividades o eliminarlas completamente.

g) Revisión del calendario

Una vez que tenemos el calendario, es necesario que se realice una revisión del mismo para determinar si es o no realista. Se debe comprobar si se han aplicado criterios razonables en la determinación de la duración de las actividades y en el presupuesto. El plan de red final debe aclarar los efectos de los factores que pueden influir en el calendario y los presupuestos. Se deben considerar los efectos de las revisiones técnicas y de gestión, los periodos vacacionales, los conflictos o las restricciones de recursos. Así mismo, debe asegurar que el calendario sea lo suficientemente flexible como para acomodarse a los retrasos no previstos.

2. Técnicas de planificación.

Vamos a describir las técnicas más utilizadas en la realización del calendario: los diagramas de Gantt (que no muestran interrelación entre actividades) y el análisis de redes de precedencia (que sí muestran esta interrelación, y cuyos exponentes principales son PERT y CPM).

Estas técnicas no son excluyentes, y de hecho lo normal es utilizar una combinación de estas técnicas, que muestren la información del calendario de forma más completa y flexible.

2.1. Diagramas de Gantt.

Se suele utilizar en proyectos pequeños. Este tipo de calendario es seguramente el más utilizado, quizás por su facilidad de comprensión con respecto a las redes de precedencia. Aunque con estos diagramas no es posible representar las dependencias entre actividades, es más fácil representar sus posibles solapamientos que en una red PERT o CPM. En muchos casos, las redes PERT o CPM se trasladan a un diagrama de Gantt. El diagrama de Gantt se puede utilizar para estimar los recursos y el presupuesto en función del tiempo. Esto se realiza identificando el total de recursos (el presupuesto) necesarios por unidad de tiempo para cada actividad y calculando el total para todas las actividades que ocurran durante un período de tiempo específico.

El diagrama de Gantt es un diagrama de barras en forma de tabla donde se hace una referencia cruzada entre las tareas (que son las filas) y los tiempos de duración de las mismas (las columnas), como se observa en la siguiente figura:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tarea 1.1										
Tarea 1.2										
Tarea 1.3										
Tarea 2.1										
Tarea 2.2										
Tarea 2.3										

Dentro del diagrama se pueden incluir fases que engloben diferentes tareas y se representan los tiempos de la fase como los de cada tarea en particular (ver la siguiente figura):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FASE 1										
Tarea 1.1										
Tarea 1.2										
Tarea 1.3										
FASE 2										
Tarea 2.1										
Tarea 2.2										
Tarea 2.3										

2.2. Redes de precedencia.

Los métodos de planificación temporal están basados en el establecimiento de una red de tareas que deben acometerse para obtener un producto software. Las técnicas de planificación que suelen utilizarse son técnicas generales de distribución de esfuerzo para el desarrollo multitarea.

Las técnicas PERT y CPM surgieron de forma casi simultánea a finales de los años 50, y siguen el esquema de las redes de precedencia. La técnica PERT ("Program Evaluation and Review Technique", Técnica de Revisión y Evaluación de Programas) fue desarrollada en la corporación Lockheed y la armada americana para la gestión del programa de los misiles Polaris, mientras que la técnica CPM ("Critical Path Method", Método del Camino Crítico) fue desarrollado para la programación y control de los proyectos de mantenimiento de las plantas de fabricación de la empresa E. I. Du Pont.

Ambas técnicas son muy parecidas, y se ampliaron posteriormente tratando la relación existente entre el coste y la duración de las actividades. De esta forma surge la planificación de proyectos con coste mínimo.

La red es un modelo gráfico que señala las relaciones secuenciales entre los sucesos claves en un proyecto. PERT y CPM pueden mostrar el camino crítico, que es la secuencia más larga de actividades conectadas a través de la red y que determina la duración total del proyecto.

Para disminuir el tiempo total, hay que reducir los tiempos de las actividades que están dentro del camino crítico (lo que suele conllevar un aumento del coste de la actividad).

Esta técnica también permite visualizar las tareas que no son críticas. Si aparecen retrasos inevitables durante el proyecto, el director de proyecto puede retrasar estas actividades, si lo desea, para reducir la demanda de recursos.

Como los cambios en el alcance del proyecto y los requisitos de tiempos normalmente aparecen a medida que avanza el proyecto, el camino crítico identificado al principio del proyecto puede, al final, no determinar la duración total del proyecto.

A menudo, una actividad que originalmente no estaba en el camino crítico se retrasa hasta el punto de que el proyecto completo se retrasa, creando un nuevo camino crítico.

Las principales diferencias entre PERT y CPM son:

- La técnica CPM se enfoca en las actividades, mientras que PERT se enfoca en los eventos o sucesos. Esto da la ventaja a los diagramas PERT al poder considerar los eventos como hitos del proyecto, facilitando el control.
- PERT permite el tratamiento de la probabilidad para su estimación de tiempo, mientras que CPM no. Esto se debe a que PERT parte del estudio del calendario para proyectos con un alto grado de incertidumbre. Aun así, las duraciones finales del proyecto no distan mucho al utilizar una técnica u otra y la decisión de utilizar una u otra técnica suele basarse en una preferencia personal.

Recientemente se han desarrollado variaciones de las técnicas PERT y CPM de forma que se pueden utilizar para la estimación, supervisión y control de los recursos y costes del proyecto.

Esto se realiza dibujando la red en una escala de tiempos (eje x) e introduciendo los costes y recursos necesarios anticipados para cada actividad, lo que permite proyectar los costes y recursos necesarios de un período de tiempo específico sin trasladar previamente la red a un diagrama de barras.

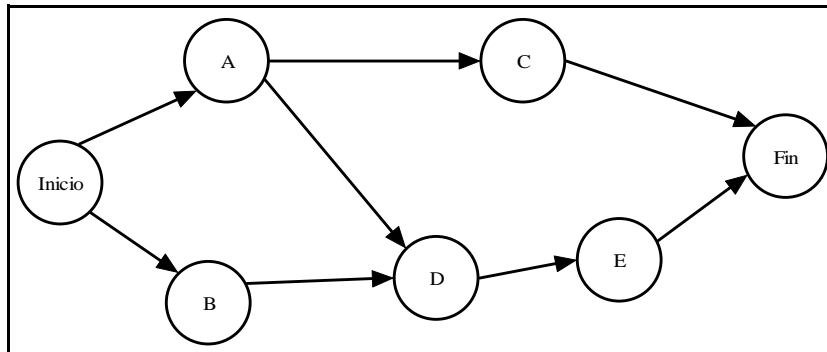
Técnica PERT

El método PERT descompone el proyecto en una serie de tareas que han de ejecutarse utilizando uno o varios recursos. A partir de la definición de las tareas se construye el grafo PERT que va a establecer el orden de ejecución de cada una, e indica además que tareas o actividades deben haber concluido antes de iniciar otra.

Los diagramas PERT son grafos acíclicos dirigidos cuyos nodos representan actividades del proyecto y sus duraciones asociadas, y cuyos enlaces representan relaciones de precedencia entre pares de actividades. Esto quiere decir que si hay un enlace (flecha) desde un nodo A a otro B, entonces la actividad A debe terminarse antes de poder empezar la actividad B.

Existe otra forma de representar los grafos PERT, en la que las actividades son los arcos, y los nodos son los sucesos que determinan las precedencias; esta representación alternativa se revisará someramente más adelante.

La siguiente figura es un ejemplo de diagrama PERT:



La forma más normal asignar tiempos a las actividades que forman el proyecto es utilizando una distribución β , de forma que:

$$\text{Tiempo PERT (D)} = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6}$$

donde:

t_o : duración optimista

t_m : duración más probable

t_p : duración pesimista

Elementos del grafo PERT

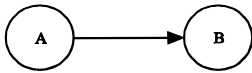
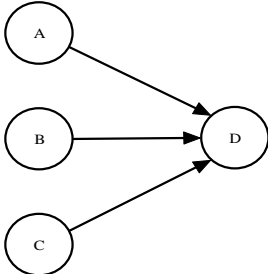
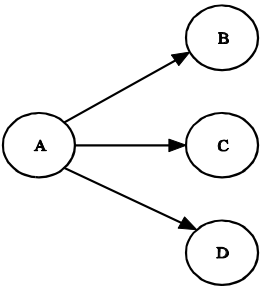
Actividades

Se representan como nodos o vértices dentro del grafo



Relaciones de precedencia

Se representan como los arcos que unen los nodos del grafo. Pueden ser relaciones de precedencia lineales, convergentes y divergentes, como se muestra en la siguiente figura:

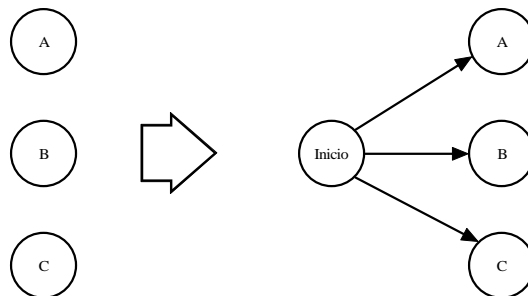
Relaciones de precedencia lineales		Para iniciar la actividad B es necesario haber finalizado la actividad A
Relaciones de precedencia convergentes		Para iniciar la actividad D es necesario haber finalizado las actividades A, B y C
Relaciones de precedencia divergentes		Para poder iniciar cualquiera de las actividades B, C o D es necesario que haya finalizado la actividad A

Actividades ficticias

En algunos casos, no es posible representar las actividades y sus precedencias utilizando un grafo plano, y se hace necesario incluir actividades ficticias, de duración 0, para solventar la representación gráfica. A las actividades ficticias también se las denomina *hitos*. Las situaciones en que puede ser necesario incluir una actividad ficticia son:

- Actividades Inicio y Fin

No puede haber más de una actividad que sea la primera o la última del grafo. En caso de que haya varias actividades sin predecesoras, se incluye una actividad ficticia Inicio, y se conectan con ella todas las que no tengan predecesores. De igual forma, se añadirá un nodo Fin si hay más de una actividad que no tenga sucesores.

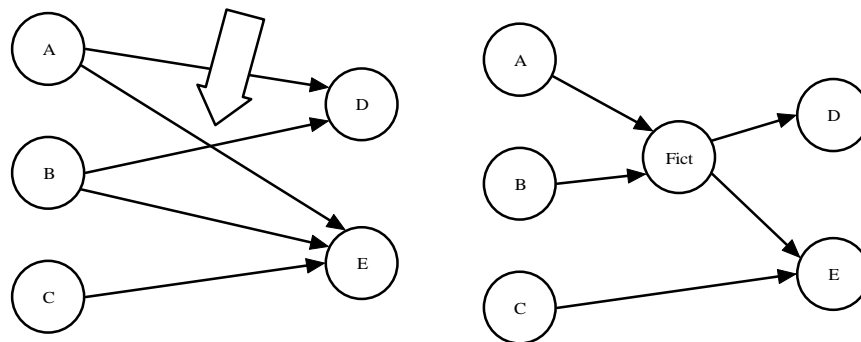


- Varios nodos tienen varios sucesores comunes.

En estos casos, es imposible representar las relaciones de precedencia como un grafo plano. La solución es incluir una actividad ficticia que se coloca entre los dos grupos de nodos. Por ejemplo, supongamos que tenemos las siguientes relaciones:

- Las actividades A y B preceden a la actividad D
- Las actividades A, B y C preceden a la actividad E

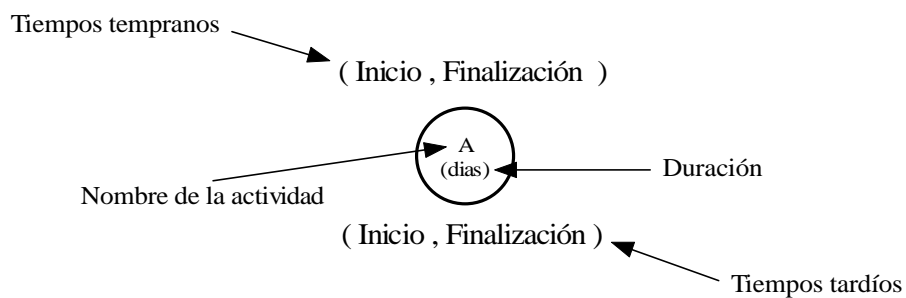
La representación original y modificada tendrá un aspecto como:



Las actividades ficticias o hitos, también se suelen utilizar para medir el progreso del proyecto, o marcar puntos importantes entre las actividades. También se utilizan para señalar el comienzo y fin de conjuntos de tareas susceptibles de ser agrupadas.

Duraciones y tiempos de comienzo y terminación de cada actividad

Cada actividad se rotulará con su duración y sus tiempos de comienzo y terminación. Se mostrarán los tiempos de inicio y finalización más tempranos (lo antes posible) y más tardíos (lo más tarde posible), con lo que cada nodo se rotulará con la duración mas cuatro tiempos, de la forma:



Construcción del grafo PERT

Según hemos visto, a la hora de construir el grafo PERT, necesitamos saber la relación de precedencia entre las distintas actividades. Es decir, nos basta con obtener una lista con las actividades que preceden o suceden a todas las actividades.

Como la mayoría de la gente encuentra más fácil construir el diagrama PERT desde el final hacia atrás, se suele utilizar sólo una tabla que indique las actividades precedentes.

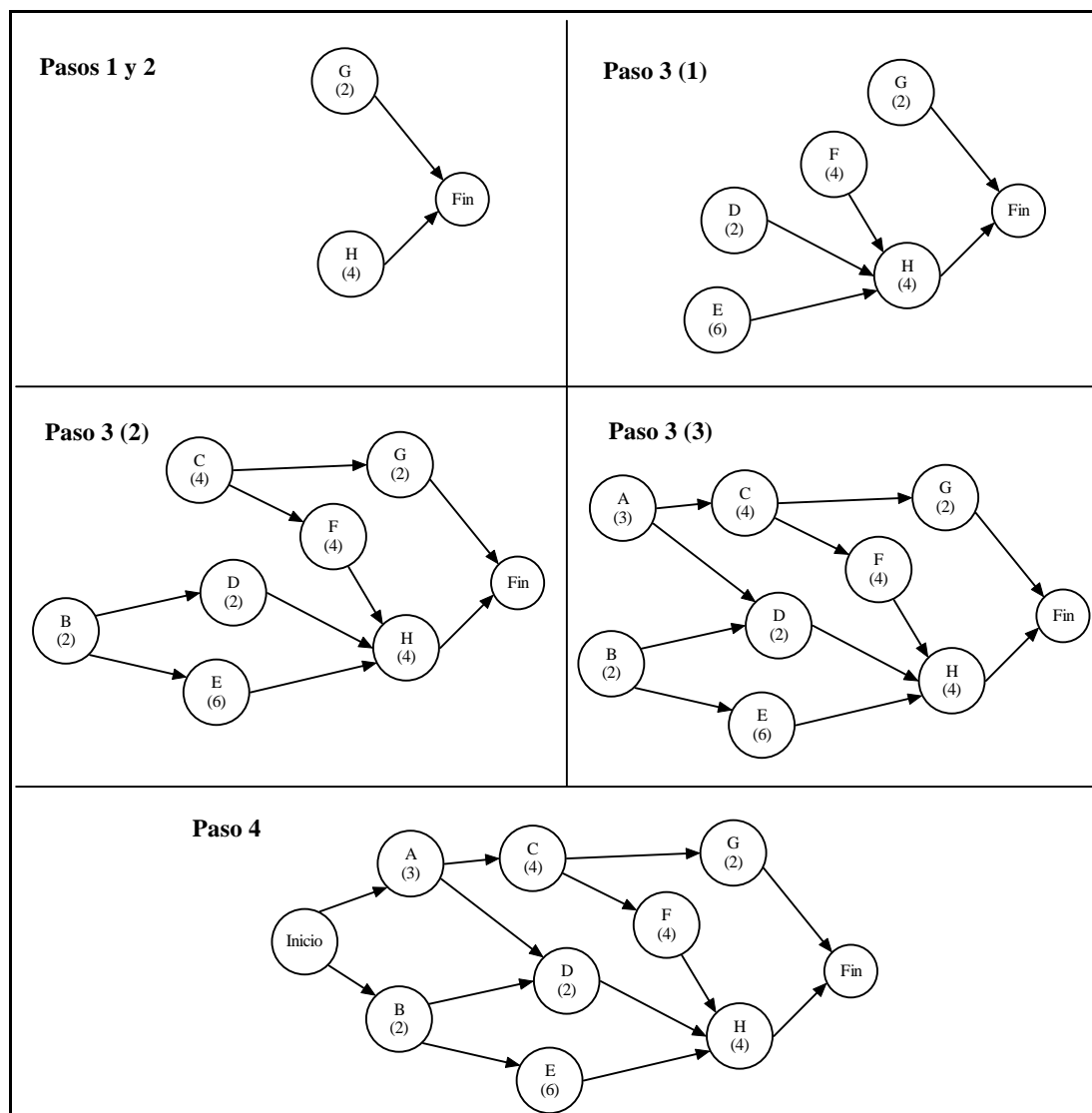
El siguiente procedimiento informal crea el grafo PERT de la forma anterior:

- Paso 1.* Dibujar un nodo denominado Fin.
- Paso 2.* Identificar las actividades cuya terminación supone la terminación del proyecto (no tienen sucesor). Añadir estas actividades como nodos predecesores de Fin.
- Paso 3.* Para el conjunto de actividades incluidas hasta ahora en el grafo, determinar sus predecesores, e incluirlos en el grafo como predecesores de esos nodos. Repetir hasta que no se añadan todas las actividades. Puede ser necesaria la inclusión de actividades ficticias.
- Paso 4.* Dibujar un nodo denominado Inicio y conectarlo como nodo predecesor de todos los nodos existentes sin predecesor.

Por ejemplo, supongamos la siguiente tabla de precedencias:

<i>Actividad</i>	<i>Duración</i>	<i>Predecesores</i>
A	3	-
B	2	-
C	4	A
D	2	A, B
E	6	B
F	4	C
G	2	C
H	4	D, E, F

Construyendo el grafo según el método anterior obtendríamos:



Es interesante resaltar que, como con casi todas las representaciones matemáticas de procesos del mundo real, un grafo PERT no es exacto. Sin embargo, en general es una aproximación útil para la planificación y control de proyectos dentro del proceso de desarrollo de software.

Análisis del Camino Crítico

Dado un grafo PERT para un proyecto software, podemos saber:

- Cuál es el tiempo mínimo necesario para completar el proyecto.
- Qué actividades son críticas para que seamos capaces de completar el proyecto en el tiempo mínimo.

Se define *CAMINO CRÍTICO* como camino (o conjunto de caminos) de mayor duración total a través de la red. Las actividades que forman parte del camino crítico se denominan *actividades críticas*. La modificación de la duración de una actividad crítica puede afectar al camino crítico, y por tanto a la duración total del proyecto.

Para identificar el camino crítico, es necesario establecer los tiempos de inicio y terminación más tempranos posibles de cada una de las actividades, y después los tiempos de inicio y terminación más tardíos.

Para determinar los tiempos de inicio y terminación de las actividades de un grafo PERT podemos aplicar el siguiente procedimiento:

Paso 1. Etiquetar la parte superior del nodo Inicio con (0,0), que corresponde con los tiempos de inicio y terminación más tempranos de la actividad.

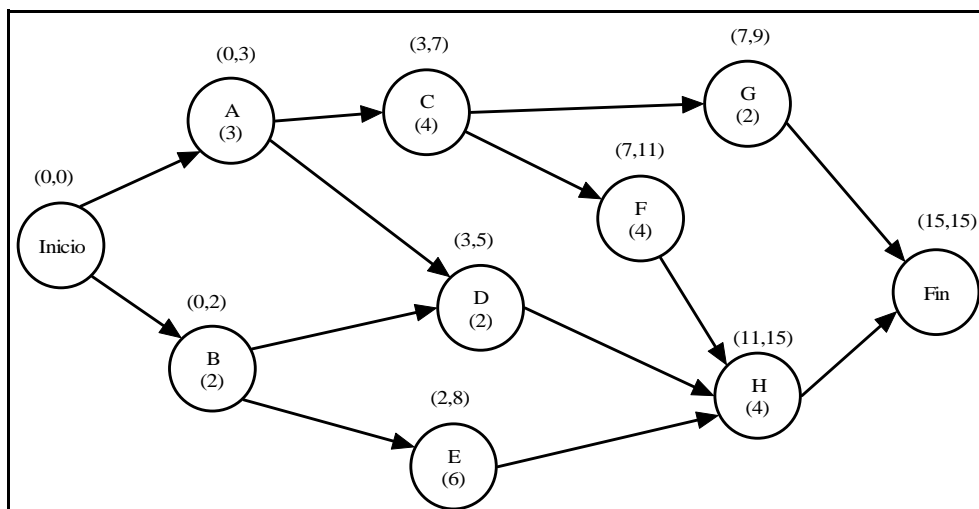
Paso 2. Para todos los nodos no etiquetados, cuyos predecesores estén todos etiquetados, calcular el tiempo de inicio más temprano posible como el tiempo de terminación más tardío de todos sus nodos predecesores:

$$S_N = \text{Max } [F_i] \quad \text{donde } i \in P(N), \text{ predecesores de } N.$$

Calcular el tiempo de finalización correspondiente, $F_N = S_N + D_N$, donde D_N es la duración de la actividad N. Etiquetar el nodo N como (S_N, F_N) .

Paso 3. Repetir el *paso 2* hasta que no queden nodos sin etiquetar.

Este procedimiento funciona etiquetando cada nodo i del grafo con un par ordenado de números (S_i, F_i) , que representan los tiempos más tempranos en que puede comenzar y terminar la actividad i .



Ahora, debemos obtener cuál es el tiempo más tardío en que podemos comenzar cada actividad sin retrasar el tiempo de finalización del proyecto completo.

Podemos hacerlo utilizando un procedimiento de etiquetado similar al anterior: Comienza a partir de los resultados del procedimiento cálculo de los tiempos de inicio y finalización más tempranos, y añade a cada nodo i otra etiqueta formada por par de números ordenado, (S'_i, F'_i) , que representa los tiempos más tardíos en que una actividad i puede comenzar y terminar.

Este procedimiento de cálculo del comienzo más tardío, comienza en el nodo Fin y recorre el grafo en sentido inverso:

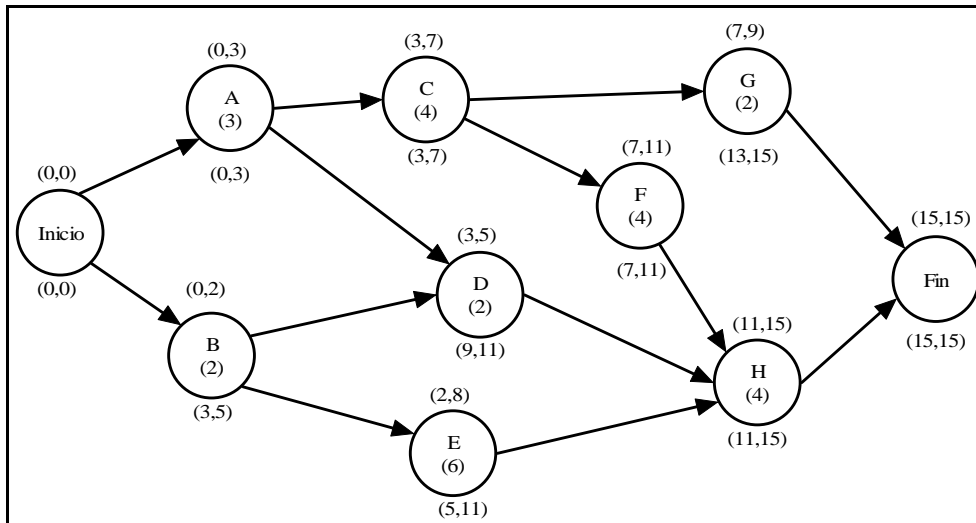
Paso 1. Etiquetar el nodo Fin con los tiempos de comienzo y fin determinados en el procedimiento del camino crítico, es decir: $(S'_F, F'_F) = (S_F, F_F)$

Paso 2. Para todos los nodos no etiquetados, cuyos sucesores estén todos etiquetados, calcular el tiempo de finalización más tardío posible como el tiempo de comienzo más temprano de todos sus nodos sucesores:

$$F'_N = \min [S_i] \quad \text{donde } i \in S(N), \text{ conjunto de sucesores de } N$$

Calcular el tiempo de inicio más tardío, como $S'_N = F'_N - D_N$, donde D_N es la duración de la actividad N . Etiquetar el nodo como (S'_N, F'_N) .

Paso 3. Repetir el paso 2 hasta que no queden nodos sin etiquetar.



Una vez realizados estos dos procedimientos, podemos calcular cuánta holgura tiene cada actividad, es decir, si comenzamos la actividad tan pronto como es posible, cuánto podemos alargar la duración de la actividad sin retrasar el tiempo de finalización del proyecto completo.

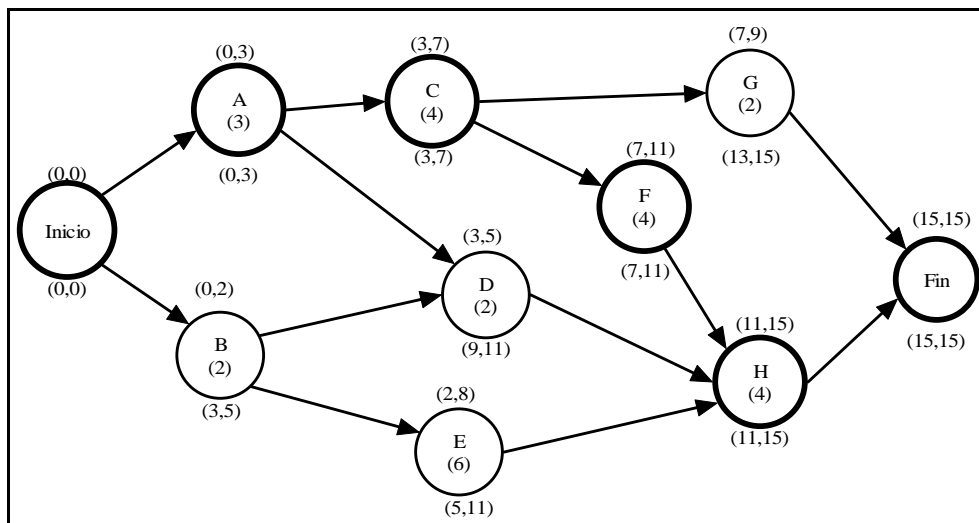
La holgura de una actividad se calcula como:

$$L_N = S'_N - S_N$$

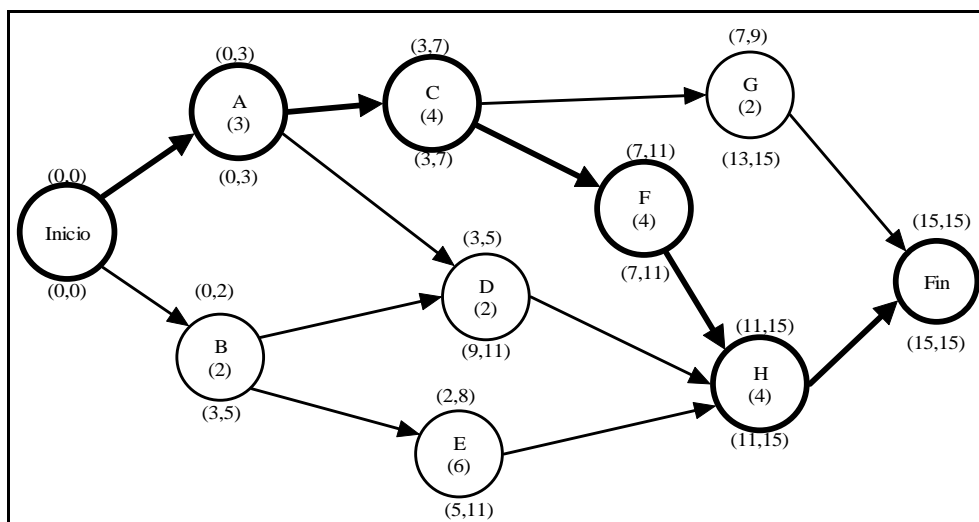
ó

$$L_N = F'_N - F_N$$

Después de calcular la holgura de todas las actividades, podemos determinar qué actividades forman parte del camino crítico, simplemente incluyendo en él aquellas actividades cuya holgura es 0:



Y por tanto, el camino crítico quedaría:



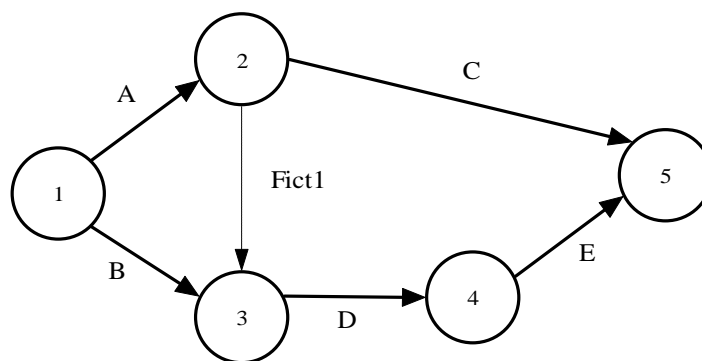
A partir de toda esta información se puede deducir el calendario de ejecución del proyecto, que va a constituir el mayor elemento de control de ejecución del mismo.

En este calendario se establecen las cuatro fechas indicadas para cada una de las actividades:

- La fecha de comienzo más temprana de una actividad nos indica lo más pronto que puede comenzarse la misma.
- La fecha de comienzo más tardía de una cierta actividad nos indica lo más tarde que puede comenzarse la actividad, de manera que no se retrase la terminación del proyecto.
- La fecha de finalización más temprana de una actividad nos indica lo antes que puede finalizarse la ejecución de la actividad.
- La fecha de finalización más tardía de una actividad, indica la fecha límite de finalización de la actividad, para que la realización no se demore.

Representación alternativa del grafo PERT

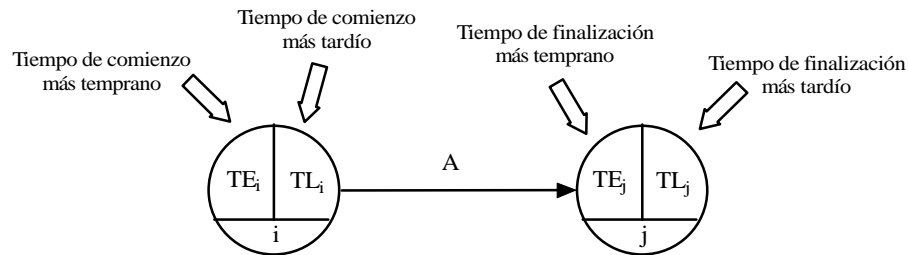
Como se ha mencionado previamente, el grafo PERT se puede representar de otra forma, en la que las actividades se representan por arcos, y los sucesos (acontecimientos que no consumen recursos) mediante nodos. Cada actividad tiene asociados dos sucesos: el suceso inicio de la actividad y el suceso final.



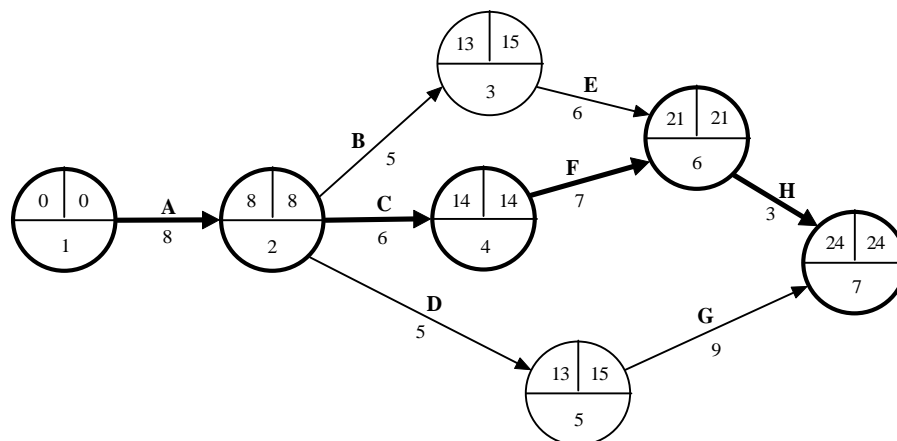
Esta notación, como la anterior, permite la representación de relaciones de precedencia lineales, convergentes y divergentes, y también existen casos en los que se hace necesaria la incorporación de actividades ficticias (que en esta notación son más abundantes). Las actividades ficticias se notan con líneas discontinuas.

En esta representación, los tiempos de duración de las actividades se notan al lado de la actividad correspondiente, y los tiempos más tempranos y más tardíos se representan dentro del suceso inicial y final de cada actividad. Lógicamente, el suceso final de una actividad coincide con el inicial de la siguiente.

La notación de los tiempos tiene la forma:



Y un grafo completo se expresa:



3. Aplicación práctica de las técnicas.

Supongamos que una empresa dedicada a la fabricación de coches solicita a una empresa informática un presupuesto económico y temporal para llevar a cabo una aplicación para informatizar la tramitación de pedidos y de registro de existencias, tanto de coches como de piezas de repuesto.

El equipo de proyectos va realizar una planificación temporal del proyecto de software, considerando las siguientes fases:

A	<i>Análisis de requerimientos</i>
B	<i>Revisión de requerimientos</i>
C	<i>Diseño preliminar</i>
D	<i>Revisión diseño preliminar</i>
E	<i>Diseño detallado</i>
F	<i>Inspección del diseño</i>
G	<i>Codificación</i>
H	<i>Inspección del código</i>
I	<i>Prueba de unidad</i>
J	<i>Planificación de la prueba</i>
K	<i>Procedimiento de prueba</i>
L	<i>Revisión de la prueba</i>
M	<i>Prueba de integración</i>
N	<i>Prueba de validación</i>
P	<i>Entrega</i>

El análisis y revisión de los requerimientos son las primeras tareas a realizar y dan la base de paralelismo para las tareas siguientes. Una vez que los requerimientos han sido identificados y examinados, las actividades del diseño preliminar (diseño de datos y arquitectónico) y la planificación de las pruebas, comienzan en paralelo.

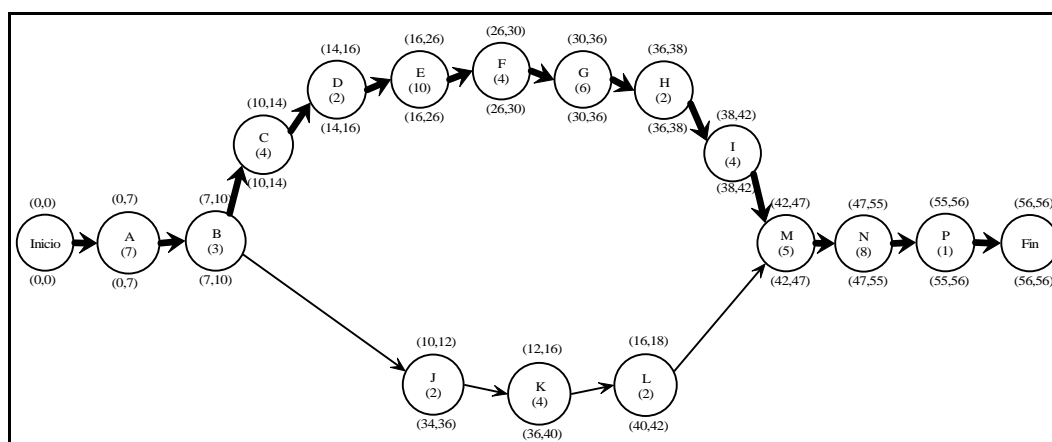
A las actividades del diseño preliminar le siguen secuencialmente el diseño detallado, la codificación y las pruebas de unidad. A la planificación de la prueba le sigue secuencialmente el procedimiento de prueba y su revisión. Cuando se terminan los componentes del software, comienza la tarea de la prueba de integración. Por último, la prueba de validación prepara el software para ser entregado a cliente.

El equipo de planificación utilizando técnicas de estimación de costes ha evaluado el coste del proyecto en 10.200 €

El siguiente cuadro recoge las relaciones entre las actividades y los tiempos de ejecución de cada actividad, que el equipo ha estimado en base a experiencias similares.

Actividad	Precedent.	Siguietes	DURACIÓN (días)			
			OPTIMIS	PROBAB	PESIMIS	T.PERT
A	-	B	3	7	11	7
B	A	C, J	1	3	5	3
C	B	D	2	4	5	4
D	C	E	1	2	3	2
E	D	F	5	10	15	10
F	E	G	2	3	10	4
G	F	H	3	6	9	6
H	G	I	1	2	3	2
I	H	M	2	4	6	4
J	B	K	1	2	3	2
K	J	L	2	4	6	4
L	K	M	1	2	3	2
M	I, L	N	2	5	8	5
N	M	P	4	8	12	8
P	N	-	0	1	2	1

A partir de esta información, podemos obtener el grafo PERT, incluyendo los tiempos más tempranos y más tardíos de cada actividad, el camino crítico, y la duración total del proyecto.



A partir de esta información, debemos construir el calendario de ejecución del proyecto, que recoja las fechas más tempranas y más tardías de comienzo y terminación de cada una de las actividades. Para las actividades que pertenecen al camino crítico sólo se indica una fecha de comienzo y otra de finalización, puesto que al no tener holgura sus fechas tempranas y tardías coinciden.

El calendario se plasma en una tabla de la forma:

NOMBRE ACTIVIDAD	FECHA COMIENZO		FECHA FINALIZACIÓN	
	<i>Temprana</i>	<i>Tardía</i>	<i>Temprana</i>	<i>Tardía</i>

Para obtener el calendario, simplemente debemos sustituir el número de día que corresponde a cada una de las fechas de las actividades que hemos obtenido en el grafo PERT por la fecha concreta, utilizando como base la fecha de inicio del proyecto (por supuesto, se puede programar el calendario a partir de una fecha de finalización del proyecto, simplemente completando las fechas hacia atrás). Para ello, debemos tener en cuenta los días no hábiles de trabajo.

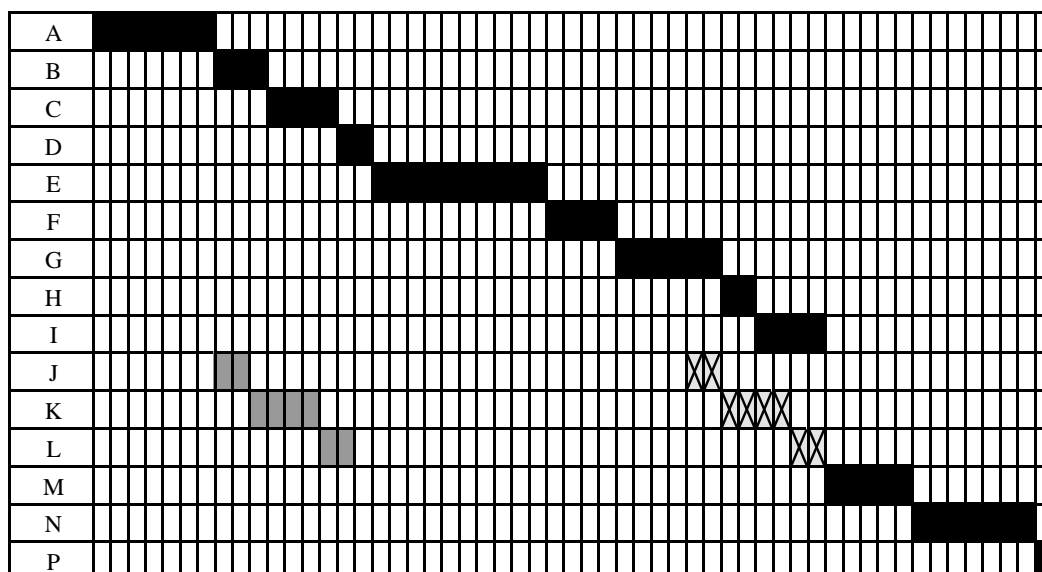
Rellenaremos el calendario mediante los siguientes pasos:

- Primero escribiremos las fechas de comienzo y finalización de las actividades que pertenecen al camino crítico.
- En segundo lugar, completaremos las fechas tempranas de inicio y finalización de las actividades que no pertenecen al camino crítico, comenzando por las que se ejecutan antes.
- Por último, completaremos las fechas tardías de inicio y finalización de las actividades que no están en el camino crítico; en este caso, se comienza rellenando las fechas de las últimas actividades .

En el ejemplo anterior, obtenemos el siguiente calendario, considerando como fecha de inicio el 3 de septiembre, y no considerando hábiles ni sábados, ni domingos.

<i>ACTIVIDAD</i>	<i>FECHA COMIENZO</i>		<i>FECHA FINALIZACIÓN</i>	
A	3 Septiembre		11 Septiembre	
B	12 Septiembre		14 Septiembre	
C	17 Septiembre		20 Septiembre	
D	21 Septiembre		24 Septiembre	
E	25 Septiembre		8 Octubre	
F	9 Octubre		12 Octubre	
G	15 Octubre		22 Octubre	
H	23 Octubre		24 Octubre	
I	25 Octubre		30 Octubre	
J	17 Sept	19 Oct	18 Sept	22 Oct
K	19 Sept	23 Oct	24 Sept	26 Oct
L	25 Sept	29 Oct	26 Sept	30 Oct
M	29 Oct		6 Noviembre	
N	7 Noviembre		16 Noviembre	
P	19 Noviembre		19 Noviembre	

A partir de esta información, podemos construir un diagrama de Gantt que muestre las fechas y duración de todas las actividades del proyecto, y su paralelismo:



4. Ejercicios.



El siguiente cuadro recoge las relaciones entre las actividades y los tiempos de ejecución de cada una de las actividades a desarrollar dentro de un proyecto:

Actividad	Precedente	Siguiente	Duración (en días)		
			Optimista	Probable	Pesimista
A	-	B	4	5	6
B	A	C, D	3	3	4
C	B	E	5	6	6
D	B	F	9	12	14
E	C	G, H	3	4	6
F	D	J	7	7	9
G	E	J	2	3	5
H	E	I	4	4	6
I	H	J	5	6	6
J	F, G, I	-	1	1	1

Aplicar el método PERT para obtener el tiempo PERT de las actividades, el grafo PERT, la holgura de cada actividad y las actividades que forman el camino crítico. Elaborar un calendario de ejecución del proyecto, suponiendo que se comienza el día 25 de Noviembre de 2002, teniendo en cuenta los días no hábiles.



El siguiente cuadro muestra las duraciones de las actividades de un proyecto.

Activ.	Duración	Preced.	Sig.
A	7	-	C, D, E
B	5	-	C, D, E
C	3	A, B	F
D	4	A, B	G
E	5	A, B	H
F	2	C	I
G	1	D	J, K
H	3	E	L, M

Activ.	Duración	Preced.	Sig.
I	1	F	J, K
J	2	I, G	-
K	6	I, G	N
L	3	H	N
M	2	H	O
N	4	K, L	-
O	1	M	-

Aplicar PERT y obtener la holgura de las actividades, el grafo PERT, y el calendario de ejecución del proyecto (comienza el 7 de Enero de 2003, y todos los días son hábiles).

D Queremos establecer el calendario de ejecución del proyecto, sabiendo que debe estar funcionando antes del 1 de Octubre de 2003. Para asegurarnos de no sobrepasar esta fecha, obtendremos el calendario estableciendo como **fecha de finalización del 15 de Septiembre de 2003** (supondremos que todos los días son hábiles). Será necesario desarrollar un grafo PERT que refleje la información de las tareas del proyecto, a partir de los datos de la siguiente tabla:

Actividad	Precedente	Duración	Pendiente Coste
A	-	7	50
B	A	5	40
C	B	7	60
D	B	2	20
E	A	10	50
F	E	4	35
G	E	8	50
H	C, D, F	3	75
I	H	2	60
J	C, D, F, G	6	50

Una vez obtenido el calendario, ¿qué podríamos hacer para que el proyecto no sobrepase la fecha de finalización, si dos meses antes de comenzar nos damos cuenta que la duración de la actividad A va a ser dos días más de lo planificado inicialmente?; ¿y si nos damos cuenta una vez que concluimos la actividad A?